

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.024

引用格式:葛士强.跨江旧桥抗撞性能分析[J].公路与汽运,2024,40(3):112-116.

Citation: GE Shiqiang. Analysis of anti-collision performance of old cross river bridges[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(3): 112-116.

跨江旧桥抗撞性能分析

葛士强

(瀚阳国际工程咨询有限公司, 广东 广州 510220)

摘要:采用基于数学模型的船撞概率分析方法,通过 MIDAS/Civil 时程分析,输入节点动力荷载,采用 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》中强迫振动法计算某预应力混凝土连续刚构桥主桥主墩及过渡墩的船撞效应,同时对该桥抗撞性能进行验算分析,得到主桥各墩可承受的最大船舶限制吨位及抗撞性能,并据此提出处置措施。

关键词:桥梁;连续刚构桥;桥墩;桩基;抗撞性能

中图分类号:U447

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)03-0112-05

交通运输部办公厅、国家铁路局综合司和国铁集团办公厅于2020年12月16日印发实施交办水〔2020〕69号《船舶碰撞桥梁隐患治理三年行动实施方案》,要求全面排查和治理船舶碰撞桥梁安全隐患,通过三年行动,进一步健全安全管理责任体系,完善桥区标志标识,提高航道通航保障服务水平,规范桥区水域船舶通航秩序,提升桥梁防撞能力,建立健全防范化解安全风险的长效机制,坚决防止重特大事故发生^[1]。本文以某预应力混凝土连续刚构桥为例,采用 MIDAS/Civil 中时程分析方法,输入节点动力荷载,采用 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》^[2]中强迫振动法计算主桥主墩和过渡墩的船撞效应,分析主桥各墩的抗撞性能及可承受的最大船舶限制吨位,评价桥梁的防撞性能。

1 工程概况

某预应力混凝土连续刚构桥主桥由新建桥及重

建桥组成,主跨上部构造为(60+2×100+60)m跨预应力混凝土连续刚构,箱梁采用 C60 混凝土。重建桥和新建桥的截面形式均为单箱单室,除侧悬臂板长度有所不同外,两个截面的几何尺寸均相同。箱梁顶板宽度为 10.728 m(靠近设计线侧的拆除重建桥)、9.900 m(远离设计线侧的新建桥),底板宽度为 5.700 m。箱梁主墩处梁高为 5.800 m,边跨现浇段及跨中合龙处中心梁高度为 2.500 m,梁高采用二次抛物线线形设计^[3]。

主墩墩身为单片薄壁墩,墩底 6 m 高范围填筑 C25 混凝土。主墩基础由 8 根直径为 220.0 cm 群桩组成,基础类型为嵌岩桩。承台顺桥向尺寸为 8.6 m,横桥向尺寸为 22.0 m,厚度为 3.5 m。过渡墩为双柱墩,直径为 150.0 cm、180.0 cm,通过系梁连接。新建桥、重建桥的主墩基础连为一个整体。

主桥桥型布置见图 1,桥墩的一般构造见图 2、图 3。

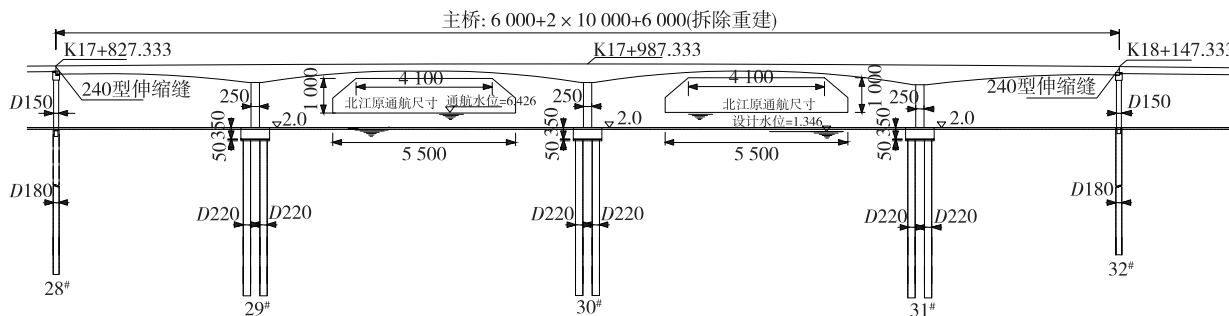


图1 主桥 28#~32#墩桥型立面布置(单位:标高为 m,其他为 cm)

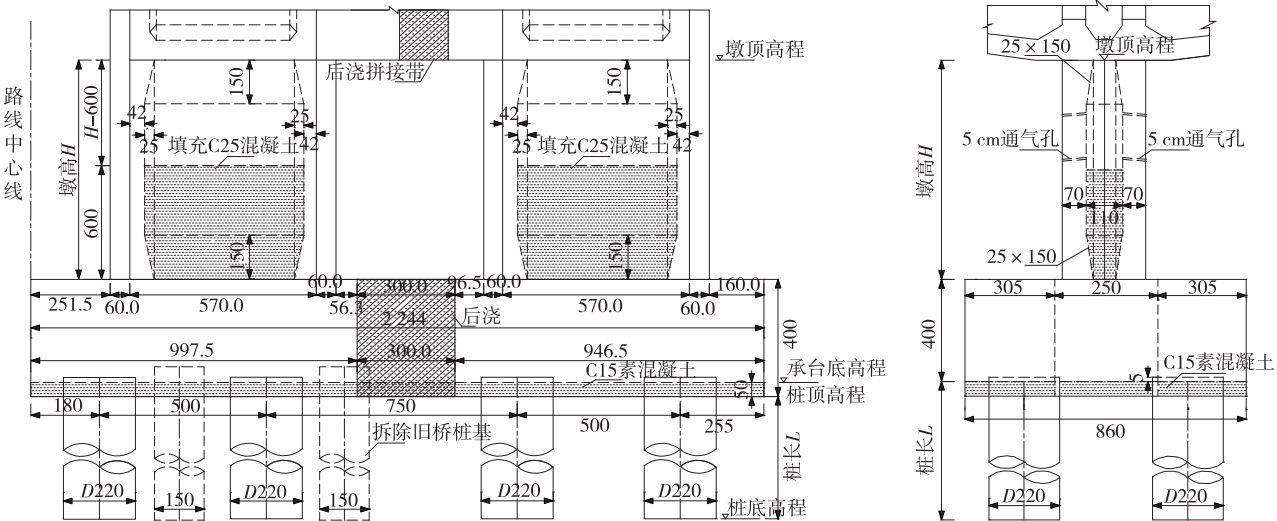


图 2 主桥桥墩的一般构造(单位:cm)

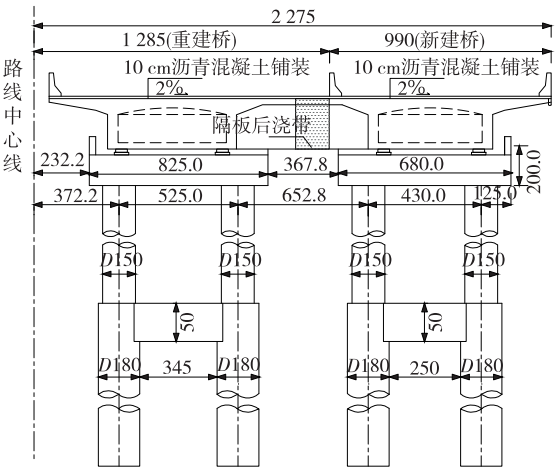


图 3 过渡墩构造图(单位:cm)

2 区域通航代表船型

旧桥原设计批复代表船型为 1 000 t 级。根据桥梁隐患治理自查评估区段各船舶碰撞通航代表船型报告,内河船为 2 000 t 级,载质量为 1 501~2 500 t;港澳线船舶为 1 000 t 级,载质量为 1 000~1 500 t。航道规划船型见表 1。

表 1 航道规划通航船型

船型	主要尺度/m			备注
	总长	总宽	吃水	
2 000 t 级船舶	75.0	16.2	2.6	Ⅱ级航道代表船型
	90.0	14.8	2.6	

采用 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》中概率-风险法进行分析,主墩设防代表船

型为载质量 3 000 t 级船舶,边墩设防代表船型为载质量 2 000 t 级船舶。

3 船撞作用计算

根据 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》计算主桥各墩船舶撞击力,计算船舶与桥梁碰撞时船舶撞击速度,结果见表 2。

表 2 船舶撞击速度计算结果

墩号	桥墩类型	设防船型载质量/t	撞击速度/(m·s ⁻¹)
28 [#]	过渡墩	2 000	1.16
29 [#]	主墩	3 000	1.84
30 [#]	主墩	3 000	2.78
31 [#]	主墩	3 000	2.76
32 [#]	过渡墩	2 000	1.98

4 抗撞性能验算

4.1 计算模型

采用 MIDAS/Civil 有限元软件,按照该桥结构实际情况建立图 4 所示全桥模型,全桥共划分为 1 435 个梁单元^[4]。

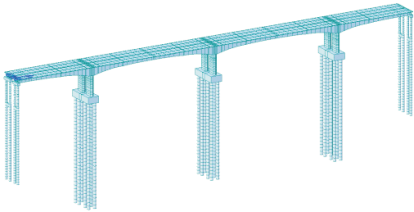


图 4 全桥有限元模型

4.2 荷载组合

验算采用的荷载组合为 $1.0 \times \text{恒载} + 0.4 \times \text{活载} + 1.0 \times \text{流水压力} + 1.0 \times \text{船舶撞击作用}$ 。

4.3 船撞位置

根据 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》，船舶满载时，船舶撞击着力点位于船舶型深 $2/3$ 处；船舶空载时，撞击着力点位于船舶型深 $1/2$ 处。从桥梁安全角度出发，着力点应按最高通航水位和低水位的包络计算。根据代表船舶型深，通航批复 1 000 t 级船舶的着力点位于水面以上 3.5 m 处；区段代表船型 2 000 t 级船舶的着力点位于水面以上 4 m 处；概率-风险法分析所得代表船型 3 000 t 级船舶在最高通航水位因净高限制无法通过该桥，选取与 2 000 t 级船舶相同的着力点。

4.4 验算结果

采用 MIDAS/Civil 中时程分析方法，输入节点动力荷载(图 5 为节点动力荷载时程函数图)，采用 JTG/T 3360-02—2020 推荐的强迫振动法进行验算，得到图 6 所示船撞效应。

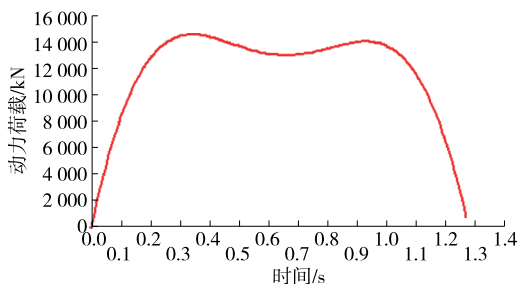


图 5 节点动力荷载时程函数图

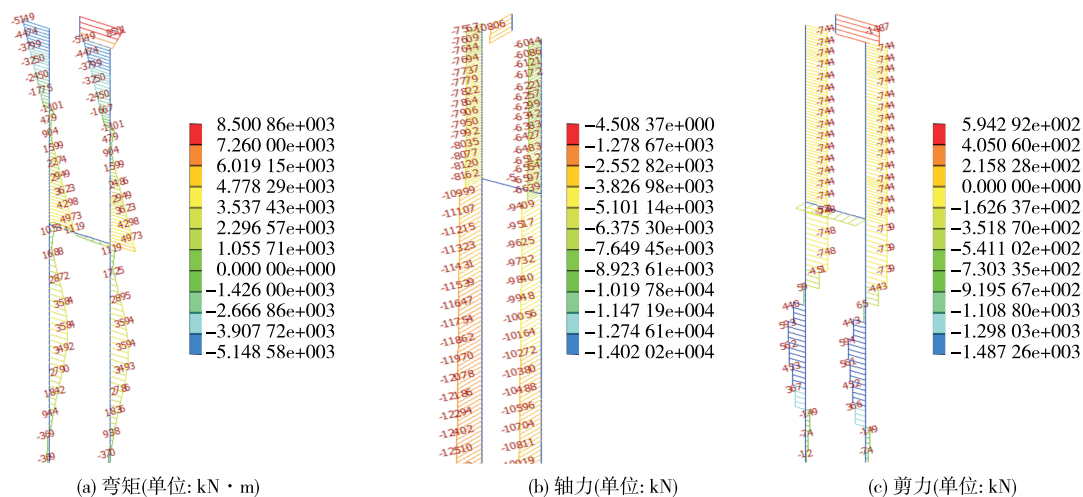


图 6 横向撞击力组合作用下上下游 32# 墩弯矩、轴力及剪力云图

根据原设计竣工图纸，桥墩墩身及桩基础截面尺寸、配筋见图 7、图 8。

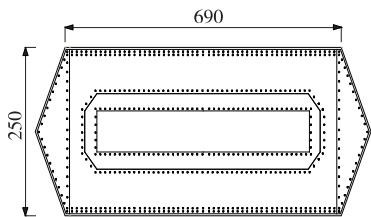


图 7 主墩墩身尺寸及配筋示意图(单位:cm)

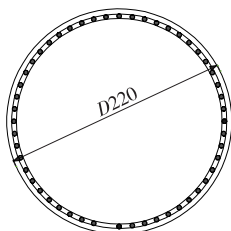


图 8 主墩桩基截面配筋示意图(单位:cm)

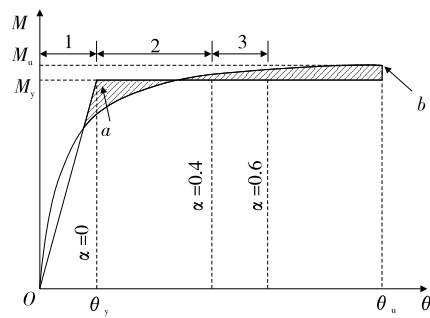
根据 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》，钢筋和钢骨混凝土构件的抗剪承载力按下式计算^[2]：

$$V_{yd} = \phi_s (V_{cd} + V_{wd} + V_{sd})$$

式中： V_{yd} 为抗剪承载力设计值(kN)； ϕ_s 为抗剪冲击效应折减系数，取 0.7； V_{cd} 为混凝土部分的抗剪承载力设计值(kN)， $V_{cd} = 0.8V_c A_g$ ； V_c 为混凝土剪切强度(kPa)； A_g 为构件横截面的毛截面积(m^2)； V_{wd} 为箍筋部分的抗剪承载力设计值(kN)； V_{sd} 为钢骨部分的抗剪承载力设计值(kN)。

图 9 为 JTG/T 3360-02—2020《公路桥梁抗撞设计规范》附录 A.1.3 规定的理想弹塑性模型。钢筋混凝土柱式构件的弯曲变形性能等级界限值 θ_d 按下式计算：

$$\theta_d = \theta_y + \alpha(\theta_{pu}/K)$$



a 为截面等效屈服点; b 为极限变形点;1、2、3 表示构件的性能等级; M_y 为构件截面等效屈服弯矩; M_u 为构件截面极限弯矩; θ_y 为构件塑性铰区等效屈服转角; θ_u 为构件塑性铰区极限转角; α 为构件性能等级系数

图 9 理想弹塑性模型

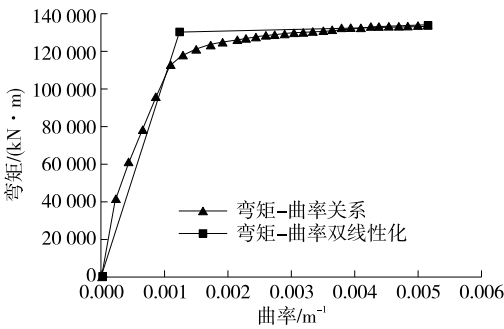


图 10 主墩截面弯矩-曲率曲线(顺桥向)

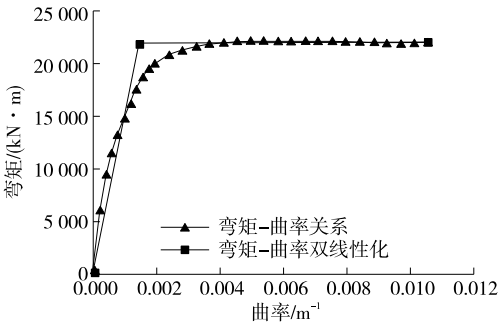
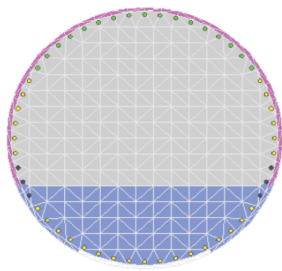


图 11 主墩桩基截面弯矩-曲率曲线(顺桥向)

表 3 桥墩和桩基验算结果(上游,顺桥向)

墩号	桥墩类型	构件	偶然组合内力			抗弯承载力/ (kN·m)	控制截面抗剪 承载力/kN	抗弯安全 系数	抗剪安全 系数	结论
			轴力/kN	弯矩/(kN·m)	剪力/kN					
28 [#]	过渡墩	桥墩	4 599	17 181	1 497	6 133	2 088	0.36	1.39	不满足
		桩基	5 294	19 969	3 190	8 099	2 634	0.41	0.83	不满足
29 [#]	主墩	桥墩	39 149	52 346	3 975	129 800	14 860	2.48	3.74	满足
		桩基	6 302	6 331	1 087	16 860	4 334	2.66	3.99	满足
30 [#]	主墩	桥墩	39 635	34 420	2 616	130 400	14 860	3.79	5.68	满足
		桩基	11 106	7 224	1 456	19 700	4 694	2.73	3.22	满足
31 [#]	主墩	桥墩	38 331	58 237	3 890	128 900	14 860	2.21	3.82	满足
		桩基	8 786	6 414	924	18 440	4 694	2.87	5.08	满足

续表3

墩号	桥墩类型	构件	偶然组合内力			抗弯承载力/ (kN·m)	控制截面抗剪 承载力/kN	抗弯安全 系数	抗剪安全 系数	结论
			轴力/kN	弯矩/(kN·m)	剪力/kN					
32#	过渡墩	桥墩	4 977	26 429	2 257	6 758	2 088	0.26	0.93	不满足
		桩基	5 781	39 694	6 260	8 327	2 634	0.21	0.42	不满足

表 4 过渡墩支座验算结果(上游,顺桥向)

墩号	支座类型	支座水平位移/cm	支座水平位移限值/cm	支座安全系数	结论
28#	GPZ(Ⅱ)3.5DX,GPZ(Ⅱ)3.5SX	42	15	0.36	不满足
32#	GPZ(Ⅱ)3.5DX,GPZ(Ⅱ)3.5SX	82	15	0.18	不满足

根据上述防撞性能验算结果,该桥上下游 29#、30#、31# 主墩满足抗撞性能要求,28#、32# 过渡墩不满足抗撞性能要求,须结合规划航道等级采取措施降低船舶撞击桥梁风险,提升桥梁的抗撞性能。

5 结语

提升桥梁的抗撞性能是一个系统工程,主要措施包括构建主动防撞系统和被动防撞系统。主动防撞系统主要通过完善通航环境主动降低船舶撞击桥梁风险;被动防撞系统是为降低桥梁船撞风险而采取的工程措施,可采用适当的防护措施提高桥梁结构抵抗船撞作用的承载力,也可以通过改变船舶撞击力方向延长力的作用时间,还可以通过吸收船舶撞击能量限制或降低到达桥梁的能量,减少桥梁受到的冲击^[5]。

针对该桥,建议采取以下措施:1) 上下游 28#、32# 过渡墩抗船撞性能不满足要求,建议开展提升防撞性能的专项设计。过渡墩在船撞作用下安全系数较小,可优先考虑设置独立防撞设施。2) 增设桥梁通航净高标牌、桥名标志等,桥墩处设置警示标

志。3) 加强桥区水域应急值守、现场巡航检查、通航秩序监管和水上突发事件的应急处置。

参考文献:

[1] 交通运输部办公厅,国家铁路局综合司,国铁集团办公厅.船舶碰撞桥梁隐患治理三年行动实施方案:交办水〔2020〕69 号〔A/OL〕.(2020-12-23)〔2023-03-12〕. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-12/23/content_5572439.htm.

[2] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥梁抗撞设计规范:JTG/T 3360-02—2020〔S〕.北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.

[3] 胡斌,张艳伟.某大桥桥墩防撞分析〔J〕.中外建筑,2012(9):106-108.

[4] 党军.基于美学景观的南广铁路郁江特大桥桥梁防撞设施设计〔J〕.中国水运(下半月),2013,13(6):248-250+241.

[5] 谢亭亭,张睿涵.内河限制性航道跨航桥梁防撞分析〔J〕.中国水运(下半月),2019,19(2):212-213.

收稿日期:2023-03-17

(上接第 111 页)

[18] RAHMAN S, XU H. A univariate dimension-reduction method for multi-dimensional integration in stochastic mechanics〔J〕. Probabilistic Engineering Mechanics,2004,19(4):393-408.

[19] 王松涛,吴海洋,杨景胜,等.矩方法在输电塔可靠度分析中的应用〔J〕.电网与清洁能源,2015,31(2):59-66.

[20] 贾良,伦培元.基于矩法的重力式挡土墙可靠度设计方法研究〔J〕.中外公路,2022,42(4):1-6.

[21] 邹红,卢朝辉,余志武.基于三阶矩法的 CRTSⅡ型轨道板横向抗裂时变可靠度研究〔J〕.铁道学报,2019,41(4):177-185.

[22] 范文亮,李正良,王承启.多变量函数统计矩点估计法的性能比较〔J〕.工程力学,2012,29(11):1-11.

收稿日期:2023-04-21